

**EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA DEL SUELO EN UN SISTEMA
DE PRODUCCIÓN GANADERO CON DIFERENTES USOS DE SUELO EN PASTO,
COLOMBIA**

**DANIEL ESTEBAN RODRIGUEZ PAZMIÑO
JERALDINE VIVIANA MERCHANCANO TORRES**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFOESTAL
SAN JUAN DE PASTO
2018**

**EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA DEL SUELO EN UN SISTEMA
DE PRODUCCIÓN GANADERO CON DIFERENTES USOS DE SUELO EN PASTO,
COLOMBIA**

**DANIEL ESTEBAN RODRIGUEZ PAZMIÑO
JERALDINE VIVIANA MERCHANCANO TORRES**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de:

INGENIERO AGROFORESTAL

Presidente

JERSON ESTEBAN ROSERO MORAN I.AF. MSc.

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFOESTAL
SAN JUAN DE PASTO
2018**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo de grado, son responsabilidad exclusiva del autor”

Artículo 1 del acuerdo N°324 de octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma Presidente

Firma Jurado

Firma Jurado

AGRADECIMIENTOS

A Jerson Esteban Rosero, IAF, MSc, presidente de tesis.

A los Jurados Hector Ordoñez IF, PhD y Claudia Quiroz IAF, MSc, docentes del programa de Ingeniería Agroforestal Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño.

A la Universidad de Nariño, a la Facultad de Ciencias Agrícolas y al Programa de Ingeniería Agroforestal.

A todas las personas que nos colaboraron en el proceso de esta investigación y nos brindaron su apoyo.

Evaluación de la actividad enzimática del suelo en un sistema de producción ganadero con diferentes usos de suelo en Pasto, Colombia

Evaluation of the enzymatic activity of the soil in a livestock production system with different uses of the soil in Pasto, Colombia

Daniel Esteban Rodríguez P.¹, Viviana Merchancano T.², Jerson Esteban Rosero M.³

¹Estudiante Ingeniería Agroforestal. Facultad de ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño, Pasto, Colombia, rodriguezdaniel880@gmail.com

²Estudiante Ingeniería Agroforestal. Facultad de ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño, Pasto, Colombia, gviviz@hotmail.com

³Ingeniero Agroforestal. MSc. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño, Pasto, Colombia, jroseromoran@gmail.com

RESUMEN

Se evaluó la actividad de las enzimas ureasa y fosfatasa en un sistema ganadero con tres diferentes usos de suelo en la zona alto andina del municipio de Pasto (Nariño); los usos evaluados correspondieron a: sistema silvopastoril, pastura y bosque secundario. Para cada uso se colectaron muestras de suelo compuestas entre los 10 y 20 primeros centímetros de profundidad. La actividad enzimática se determinó mediante la metodología propuesta por Tabatabai (1972) adaptada por Paul (2015) para ureasas, y de Gil (2005) para fosfatasas, las cuales se basan en análisis de espectrofotometría. La mayor actividad enzimática se presentó en el sistema silvopastoril a una profundidad de 10 cm con valores $147,98 \mu\text{g N-NH}_4.\text{g}^{-1}.\text{h}^{-1}$ para ureasas y de $491,09 \mu\text{g PNP}.\text{g}^{-1}.\text{h}^{-1}$ para fosfatasas, estos valores estuvieron relacionados con el contenido de materia orgánica y carbono disponible en este uso, siendo del orden del 11,1% para materia orgánica y de 9,04% para carbono. La evaluación enzimática permitió identificar que la actividad de ureasas y fosfatasas varía en función de algunas propiedades físicas y disponibilidad de elementos químicos del suelo, así como de las prácticas de uso que se implementen.

Palabras Clave: ureasa, fosfatasa, sistema agroforestal, carbono, materia orgánica.

ABSTRACT

The activity of urease and phosphatase enzymes was evaluated in a livestock system with three different land uses in the high Andean area of the municipality of Pasto (Nariño); The evaluated uses corresponded to: silvopastoral system, pasture and secondary forest. For each use, composite soil samples were collected between 10 and 20 centimeters deep. The enzymatic activity was determined by the methodology proposed by Tabatabai (1972) adapted by Paul (2015) for ureasas, and by Gil (2005) for phosphatases, which are based on spectrophotometric analysis. The highest enzymatic activity was found in the silvopastoral system at a depth of 10 cm with values of 147.98 $\mu\text{g N-NH}_4\text{.g}^{-1}\text{.h}^{-1}$ for ureases and 491.09 $\mu\text{g PNP.g}^{-1}\text{.h}^{-1}$ for phosphatases, these values were related to the content of organic matter and carbon available in this use, being of the order of 11.1% for MO and 6.45% for Carbon. The enzymatic evaluation allowed to identify that the activity of ureasas and phosphatases varies according to some physical and chemical properties of the soil, as well as the management practices that are implemented.

Key Words: urease, phosphatase, agroforestry system, carbon, organic matter.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	9
2. MATERIALES Y MÉTODOS	12
2.1. Localización	12
2.2. Muestreo.....	12
2.3. Diseño experimental.....	12
2.4. Determinación de la actividad de la enzima ureasa	13
2.5. Determinación de la enzima fosfatasa.....	13
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
4. CONCLUSIONES	20
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	20

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Diseño experimental completamente al azar (DCA) en arreglo factorial 3 x 2 para 3 diferentes usos de suelo. 13

Tabla 2. Análisis de varianza para la actividad de la enzima ureasa en diferentes usos del suelo en un sistema ganadero del municipio de Pasto departamento de Nariño. 14

Tabla 3. Prueba de comparación de medias de Tukey para la actividad de la enzima ureasa. 15

Tabla 4. Análisis de varianza para la actividad de la enzima fosfatasa en diferentes usos del suelo en un sistema ganadero del municipio de Pasto departamento de Nariño. 17

Tabla 5. Prueba de comparación de medias de Tukey para la actividad de la enzima fosfatasa. 17

1. INTRODUCCIÓN

La importancia fundamental de la actividad de las enzimas en el suelo radica en que el funcionamiento de los ecosistemas no se puede entender correctamente sin tener en cuenta la participación de los procesos enzimáticos, pues estos intervienen en la mayoría de los procesos que tienen lugar en el suelo y las funciones que realizan son de gran importancia (Cerón *et al.*, 2005). Enzimas pertenecientes al grupo de las transferasas como la fosfatasa y la ureasa son responsables de la formación de moléculas orgánicas y particularmente tienen una participación vital en el ciclo del nitrógeno, fósforo y carbono. La actividad enzimática puede considerarse útil para monitorear cambios en la actividad microbiana del suelo (Gajda y Martyniuk 2005), es un indicador de cambios en las propiedades del suelo inducidos por el manejo del mismo (Dick y Tabatabai, 1993) y ofrecen información sobre la capacidad potencial del suelo para llevar a cabo la liberación de C, N, y P, elementos importantes en la nutrición de las plantas (Henriquez y Cabalceta, 2012).

Dentro de las enzimas que se estudian en el suelo, la fosfatasa y ureasa se han utilizado como indicadores para evaluar el efecto del manejo agronómico sobre características de calidad o estado de sanidad del suelo (Gajda y Mortyniuk 2005, Baležentienė y Klimas 2009).

La fosfatasa puede ser ácida o alcalina dependiendo del tipo de suelo en que se encuentre (Fernández *et al.*, 2008), las fosfatasas son liberadas por los microorganismos del suelo y también por las raíces de las plantas, invertebrados como las lombrices de tierra también liberan esta enzima, sin embargo, se asume que las fosfatasas en el suelo provienen principalmente de los microorganismos (Santruckova *et al.*, 2004).

Las fosfatasas se encargan de transformar los compuestos de P orgánico a P inorgánico soluble, este proceso se le denomina mineralización. El P orgánico es una importante reserva de P y representa en algunos casos entre el 23 y 47% del fósforo total del suelo (Fernández *et al.*, 2008). La mineralización del P orgánico en el suelo está mediada por las enzimas fosfatasas, aproximadamente el 90% del P presente en el suelo se encuentra en forma orgánica, sin embargo, existen microorganismos capaces de transformarlo en P disponible para las plantas mediante la secreción de fosfatasas (Galvis *et al.*, 2007 y Santruckova *et al.*, 2004).

Por su parte, la ureasa es secretada por células vivas o liberada por células microbianas y mantiene su estabilidad como enzima extracelular ya que se asocia a los coloides del suelo, (arcillas minerales o sustancias húmicas), por esta razón tiene una vida media prolongada en relación a las que se encuentran en la fase acuosa del suelo (Gajda y Martyniuk 2005, Gil-Sotres *et al.*, 2005, Paul y Clark 2007). La ureasa cataliza la hidrólisis de urea a CO_2 y NH_3 , lo cual es de particular interés debido a que la urea es un fertilizante nitrogenado de uso frecuente en la agricultura, la ureasa en el suelo es esencialmente de origen microbiano y puede existir como una enzima extracelular adsorbida sobre partículas de arcilla o encapsuladas en complejos húmicos (Quiroz, 2007).

Debido a la relación de las enzimas con procesos de gran importancia en el suelo, como lo son los ciclos del nitrógeno, fósforo y carbono; la determinación de la actividad enzimática ha sido estudiada como un biomarcador de diferentes condiciones de calidad de suelo (Baležentienė 2012, Carpa, 2009, Ferreras *et al.*, 2009, Gil-Sotres *et al.*, 2005, Trasar *et al.*, 2003). La actividad de la ureasa y fosfatasa puede responder a cambios en el manejo de un uso más rápidamente que otras variables de suelo, por lo que pueden ser útiles como indicadores tempranos de cambios biológicos en el suelo (Hu *et al.*, 2006).

La importancia que hoy en día está adquiriendo la determinación de los parámetros bioquímicos, en este caso la actividad enzimática de suelo, es cada vez mayor en los estudios avanzados de la ciencia del Suelo, esto se debe a que es esencial para entender las funciones reguladoras del suelo (Acosta y Tabatabai, 2000).

El presente estudio evaluó la actividad enzimática en un sistema de producción ganadero con tres diferentes usos del suelo (bosque, pastura y sistema silvopastoril) en el municipio de Pasto – Colombia.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Localización

La siguiente investigación se realizó en su fase de campo en la vereda Cruz de amarillo del corregimiento de Catambuco, localizado al Nor-oriental del municipio de Pasto, a una altura de 2800 msnm, con una temperatura promedio de 12°C y una precipitación de 703 mm/año (IDEAM, 2016), geográficamente se encuentra localizado entre las coordenadas 01°17,1' 04", -77° 30,3' 32" Latitud y longitud, con una humedad relativa de 87,5%. Se localiza en la zona de vida correspondiente a bosque húmedo montano con suelos de alta capacidad catiónica de cambio, alta saturación de bases, altos contenidos de carbono orgánico, mediano contenido de fósforo y fertilidad química alta (IGAC, 2009). La fase de laboratorio para determinar la actividad enzimática se desarrolló en los laboratorios de la Universidad de Nariño, ubicada al noreste de la ciudad de San Juan de Pasto (01° 12' 13" latitud norte y 77° 15' 23" longitud oeste), 2540 msnm, 13 °C y humedad relativa de 60% (Rosales, 2013).

2.2. Muestreo

Se tomó muestras de suelo con ayuda de un barreno para análisis de actividad enzimática y físico – químico, estos últimos con el propósito de conocer el estado general de los suelos en aspectos físicos y químicos que permitan un análisis más integral de la actividad enzimática; el muestreo para actividad enzimática se realizó durante seis meses en intervalos de dos meses, iniciando en el mes de Febrero de 2017 hasta el mes de Agosto de 2017, esto con la finalidad de bloquear condiciones climáticas que puedan incrementar la incertidumbre en las evaluaciones, se tomaron tres muestras compuestas por uso (provenientes de 15 sub-muestras) a dos profundidades, de 0 – 10 y de 10 – 20 (Bolaños, 2006 y Yoshioka, 2005), y se almacenaron a una temperatura aproximada de 4°C, hasta su procesamiento.

2.3. Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar (DCA) en arreglo factorial 3 x 2 con tres repeticiones. Los factores evaluados corresponde a: Factor A (usos, con tres niveles) y Factor B (profundidades, con dos niveles), tal como se relaciona en el Tabla 1.

Tabla 1. Diseño experimental completamente al azar (DCA) en arreglo factorial 3 x 2 para 3 diferentes usos de suelo.

Factor A (Usos)	Factor B (profundidad)	Tratamiento
Bosque	0-10 cm	T ₁ = Bosque – 10 cm
Pastura		T ₂ = Bosque – 20 cm
Sistema silvopastoril (SSP)	10 – 20 cm	T ₃ = Pastura -10 cm
		T ₄ = Pastura – 20 cm
		T ₅ = SSP – aliso – 10 cm
		T ₆ = SSP- aliso – 20 cm

Los resultados obtenidos se sometieron a análisis de varianza con el fin de describir las tendencias de los tratamientos, posteriormente se realizó una prueba de comparación de medias de Tukey para determinar el tratamiento con mayor y menor actividad enzimática.

El software estadístico usado fue InfoStat versión 2018 desarrollado por el Grupo InfoStat, FCA de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

2.4. Determinación de la actividad de la enzima ureasa (Tabatabai, 1972; Paul, 2015).

Para cada muestra, se pesó 1,0 gramo de suelo en tubos de plástico con tapa, para cada uso se hicieron 5 repeticiones, el suelo previamente fue humedecido hasta aproximadamente capacidad de campo. A las muestras se les añadió 4 ml de tampón borato pH 10,0 y 0,5 ml de sustrato (solución de urea al 0,64%). En el caso del control en lugar de urea se añadió 0,5 ml de agua destilada. Los tubos se incubaron bajo agitación constante durante 2 h en un baño a 37°C. Seguidamente se adicionó 6 ml de KCl (7,4%) a todos los tubos, se agitaron durante 30 minutos y se centrifugaron a 3500 rpm durante 10 minutos. Posteriormente se trasvasó 9 ml del líquido sobrenadante de todos los tubos (muestras y blanco) a otros tubos de plástico limpios. Finalmente se determinó la cantidad de NH₄⁺ mediante el método colorimétrico a 525 nm y los resultados se expresan en µg N-NH₄.g⁻¹.h⁻¹.

2.5. Determinación de la enzima fosfatasa (Gil Sotres *et al.*, 2005).

Se pesó 0,5 gramos de suelo en tubos plásticos con tapa para conformar 3 determinaciones y un control, a cada tubo de muestra se le agrego 0,5 ml de PNPP 0,115 mM (4-Nitrofenol-fosfatop-nitrofenil-fosfato hexahidratado) como sustrato enzimático y al control se le agregó un volumen similar de agua desionizada. A todos los tubos se les agregó 2 ml de buffer maleato

pH 6,5 y se incubaron durante 1,5 horas a 37°C. Luego de la incubación, al control se le agregó 0,5 ml de PNPP e inmediatamente se procedió a añadirle a todos los tubos 0,5 ml de Cl_2Ca 0,5 M + 2 ml de NaOH 0,5 M, los tubos se mezclaron con un vortex y se centrifugaron a 3500 rpm durante 15 min; a partir de cada tubo se extrajo un volumen de 0,125 ml del líquido sobrenadante y se adicionó 4,875 ml de agua desionizada. Finalmente se midió en un espectrofotómetro la absorbancia obtenida a una longitud de onda de 398 nm; los resultados se expresaron en μg de P-Nitrofenol (PNP). $\text{g}^{-1}.\text{h}^{-1}$.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Actividad enzimática

Ureasa

El análisis de varianza para la actividad de la enzima ureasa detectó diferencias altamente significativas entre usos del suelo, profundidades y la interacción usos de suelo*profundidad, con un nivel de confianza del 99% (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis de varianza para la actividad de la enzima ureasa en diferentes usos del suelo en un sistema ganadero del municipio de Pasto departamento de Nariño.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	103388,60	5	20677,72	2471,17	<0,0001**
USO	75835,49	2	37917,74	4531,51	<0,0001**
PROF	24312,60	1	24312,60	2905,58	<0,0001**
USO*PROF	3240,51	2	1620,26	193,64	<0,0001**
Error	2460,07	294	8,37		
Total	105848,67	299			

** : Altamente significativo 99% de confiabilidad

La prueba de comparación de medias de Tukey para la interacción usos*profundidades detectó diferencias significativas en la actividad de ureasas entre el sistema silvopastoril a una profundidad de 10 cm, con un promedio de 147,98 μg N- NH_4 . $\text{g}^{-1}.\text{h}^{-1}$, respecto al uso pastura a una profundidad de 20 cm en donde la actividad de esta enzima fue menor con un promedio de 92,23 μg N- NH_4 . $\text{g}^{-1}.\text{h}^{-1}$ (Tabla 3).

Tabla 3. Prueba de comparación de medias de Tukey para la actividad de la enzima ureasa.

USO	PROF	Medias	n	E.E.	
2	1	147,98	50	0,41	A
2	2	122,80	50	0,41	B
3	1	120,87	50	0,41	C
1	1	101,53	50	0,41	D
3	2	101,33	50	0,41	D
1	2	92,23	50	0,41	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$); USO: 1 (Pastura), 2 (Sistema silvopastoril), 3 (Bosque) PROF: 1 (10cm), 2 (20 cm)

Se pudo apreciar una mayor actividad enzimática para la enzima ureasa en el sistema silvopastoril a una profundidad de 10 cm, con un promedio de $147,98 \pm 98 \mu\text{g N-NH}_4\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, estos resultados se relacionan posiblemente con la cantidad de materia orgánica disponible en dicho uso (Montero y Sagardoy, 2007); de acuerdo a los análisis químicos, la materia orgánica para el sistema silvopastoril a los 20 cm fue de 21,3%, en el uso bosque fue de 7,58%, y en pastura fue de 13,1%, de acuerdo a Montero y Sagardov (2007) la ureasa en el suelo puede existir como una enzima extracelular adsorbida sobre partículas de arcilla o encapsuladas en complejos húmicos, una actividad enzimática alta implica la presencia de materia orgánica disponible y un aumento en la hidrólisis de la urea, de acuerdo a los análisis químicos se encontraron las siguientes cantidades de N disponible en cada uso a los 20 cm de profundidad, para el sistema silvopastoril 0,66 %, para el bosque 0,29 % y para la pastura 0,47 %.

Lo anterior indica que es posible encontrar mayor actividad enzimática de la ureasa en un sistema silvopastoril predominado por aliso (*Alnus acuminata* H.B.K) y kikuyo (*Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone); de acuerdo al estudio realizado por Muñoz *et al.* (2010), se presentan mayores niveles de nitrato y amonio en el arreglo aliso+kikuyo, este comportamiento se debe probablemente a la presencia de una especie fijadora de nitrógeno como el aliso (Gomis, 2008), que presenta nódulos en la raíz, como consecuencia de la simbiosis con un actinomiceto del género *Frankia*, posiblemente la especie *F. alnii*, capaces de fijar el nitrógeno atmosférico (Ospina *et al.*, 2005), además sus raíces al descomponerse generan un incremento de materia orgánica que los microorganismos del suelo descomponen, provocando que el nitrato se encuentre en mayor proporción en el arreglo, también las raíces al crecer en forma horizontal evitan que se lixivie reteniéndolo en estas y evitando su lavado

(Ferrari y Wall, 2004), la urea puede ser hidrolizada a amonio por la enzima ureasa con la subsecuente conversión de amonio a nitrato mediante el proceso de nitrificación (Parra *et al.*, 2010), por tanto, en este uso se encontrará mayor presencia de microorganismos que realicen síntesis de urea evidenciando una mayor producción de la enzima ureasa.

El tipo de uso y manejo que se le brinde al suelo va a estar relacionado directamente con la actividad potencial de la enzima ureasa (Montero y Sagardoy, 2007), Henríquez *et al.*, (2014) analizaron la actividad enzimática de la ureasa del suelo en fincas bajo diferentes manejos agronómicos y en diferentes tipos de suelos, reportando en ureasa una variación de 12,5 a 52,8 $\mu\text{g N-NH}_4\text{.g}^{-1}\text{.h}^{-1}$ con un promedio de 38,3 $\mu\text{g N-NH}_4\text{.g}^{-1}\text{.h}^{-1}$, los cultivos tiquizque, pimienta y vainilla mostraron los valores más altos (52,8, 51,4 y 51 $\mu\text{g N-NH}_4\text{.g}^{-1}\text{.h}^{-1}$ respectivamente) en tanto que piña y vachysia los valores más bajos (13,1 y 12,5 $\mu\text{g N-NH}_4\text{.g}^{-1}\text{.h}^{-1}$ respectivamente), de la misma manera en los usos de suelo de este estudio se presentaron diferentes promedios en cuanto a la actividad enzimática de la ureasa, obteniendo lo mayores promedios en el uso sistema silvopastoril con 147,98 $\mu\text{g N-NH}_4\text{.g}^{-1}\text{.h}^{-1}$ y el mínimo en pastura con 92,23 $\mu\text{g N-NH}_4\text{.g}^{-1}\text{.h}^{-1}$.

Por su parte Paz-Ferreiro *et al.*, 2007, registraron valores de 11,62 a 2704,38 $\mu\text{g N-NH}_4\text{.g}^{-1}\text{.h}^{-1}$ en pastos y bosques, con los valores más altos en el manejo de pastos, en este estudio por el contrario, la actividad de la enzima ureasa en bosque es superior a la de pastos a los 20 cm de profundidad, de acuerdo a la prueba de comparación de medias encontrada en bosque a los 20 cm de profundidad respectivamente 101,33 $\mu\text{g N-NH}_4\text{.g}^{-1}\text{.h}^{-1}$ y en pasto a los 20 cm de profundidad respectivamente 92,23 $\mu\text{g N-NH}_4\text{.g}^{-1}\text{.h}^{-1}$ (tabla 3).

Los sistemas silvopastoriles, promueven la actividad de la ureasa que es dependiente del carbono orgánico y la relación de este frente a otras características como la humedad y materia orgánica, factores que son influenciados por la interacción entre diferentes especies vegetales y manejo del suelo (Anriquez *et al.*, 2017).

La ureasa resulta ser un indicador bastante sensible a los distintos tipos y propiedades de cada uso de suelo, un claro ejemplo es la demostración realizada por Paul y Clark en 2007, quienes reportaron valores de 1,96 a 200,2 $\mu\text{g N-NH}_4\text{.g}^{-1}\text{.h}^{-1}$ en su estudio de propiedades bioquímicas en diferentes usos de suelo en la región de California Inglaterra y Kandeler *et al.*, (1999) quienes encontraron niveles de 8,6-13,7 $\mu\text{g N-NH}_4\text{.g}^{-1}\text{.h}^{-1}$ en suelos bajo diferentes cultivos;

estos últimos autores observaron un aumento en el nivel de la actividad de hasta 38,8 $\mu\text{g N-NH}_4\text{.g}^{-1}\text{.h}^{-1}$ luego de adicionar enmiendas orgánicas y fertilizantes al suelo.

Fosfatasa

El análisis de varianza para la actividad de la enzima fosfatasa permitió identificar que existen diferencias estadísticas altamente significativas en la interacción usos de suelo*profundidad (Tabla 4).

Tabla 4. Análisis de varianza para la actividad de la enzima fosfatasa en diferentes usos del suelo en un sistema ganadero del municipio de Pasto departamento de Nariño.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	159334,10	5	31866,82	9872,19	<0,0001**
USO	123813,14	2	61906,57	19178,36	<0,0001**
PROF	33744,90	1	33744,90	10454,01	<0,0001**
USO*PROF	1776,06	2	888,03	275,11	<0,0001**
Error	949,01	294	3,23		
Total	160283,11	299			

** : Altamente significativo 99% de confiabilidad

La prueba de comparación de medias muestra que existen efectos de interacción entre los 3 usos del suelo y las 2 diferentes profundidades del suelo en relación a la actividad de la enzima fosfatasa presente en dichos usos (μg de P-Nitrofenol (PNP) $\text{.g}^{-1}\text{.h}^{-1}$).

Según la prueba de comparación de medias de Tukey, el uso del suelo correspondiente al sistema silvopastoril a una profundidad de 10 cm, con un promedio de 491,09 μg de P-Nitrofenol (PNP) $\text{.g}^{-1}\text{.h}^{-1}$ presentó diferencias estadísticas respecto al uso pastura a una profundidad de 20 cm con un promedio de 422,33 μg de P-Nitrofenol (PNP) $\text{.g}^{-1}\text{.h}^{-1}$ (Tabla 5).

Tabla 5. Prueba de comparación de medias de Tukey para la actividad de la enzima fosfatasa.

USO	PROF	Medias	n	E.E.	
2,00	1,00	491,09	50	0,25	A
3,00	1,00	477,29	50	0,25	B
2,00	2,00	476,76	50	0,25	B
3,00	2,00	452,52	50	0,25	C
1,00	1,00	446,86	50	0,25	D
1,00	2,00	422,33	50	0,25	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$), USOS: 1 (Pastura), 2 (Sistema silvopastoril), 3 (Bosque) PROF: 1 (10cm), 2 (20 cm).

En general los valores encontrados para la enzima fosfatasa a los 10 y 20 cm de profundidad en los usos sistema silvopastoril, bosque y pastura, se encuentran en los niveles reportados por Paul y Clark en 2007 en diferentes usos de suelo en la región de California Inglaterra, los cuales van de 12,51 a 56295 μg de P-Nitrofenol (PNP) $\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, Caravaca *et al.* (2002) en ambientes semiáridos del Mediterráneo de Italia (340 a 2194 μg de P-Nitrofenol (PNP) $\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$), Ferreras *et ál.* (2009) en pastos nativos y bosques de Galicia España (346,24 a 682,17 μg de P-Nitrofenol (PNP) $\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) y Gil-Sotres *et ál.* (2005) en suelos bajo bosque (323,87 a 2190,64 μg de P-Nitrofenol (PNP) $\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$).

En este estudio, el uso que presentó mayor actividad en la enzima fosfatasa fue el sistema silvopastoril a 10 cm de profundidad (491,09 μg de P-Nitrofenol (PNP) $\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) en tanto que la pastura a los 10 cm de profundidad (446,86 μg de P-Nitrofenol (PNP) $\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) y a los 20 cm de profundidad (422,33 μg de P-Nitrofenol (PNP) $\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) tuvo el menor valor para esta enzima.

La mayor cantidad de actividad en la enzima fosfatasa fue reportada en el sistema silvopastoril a una profundidad de 10 cm, con 491,09 μg de P-Nitrofenol (PNP) $\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, fenómeno que puede estar relacionada con el carbono orgánico de acuerdo a los estudios desarrollados por Effron *et al.* 2006 esta cantidad está relacionada con el contenido de carbono orgánico del suelo, a su vez, esta puede ser afectada por las distintas especies forestales presentes, en este caso el aliso (*Alnus acuminata* H.B.K), este comportamiento es explicado por los contenidos de C.O. encontrados en el silvopastoril a 10 cm (9,04%) frente a (7,58%.) encontrado en la pastura a 20.

Al respecto Effron *et al.* (2006) mencionan que la actividad de la enzima fosfatasa responde fundamentalmente a las diferencias en contenido de carbono orgánico en el suelo generadas por las diferentes especies forestales, el sistema silvopastoril evaluado fue establecido con las especies aliso (*Alnus acuminata* H.B.K) y kikuyo (*Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone), siendo altamente predominante el aliso en este uso, de acuerdo a Cepeda *et al.* (2015), el aliso es una especie que presenta mayor captura de carbono en un corto período de tiempo, manejando intervalos de incremento del 12,1 a 37,5%, por tanto esta es una especie que influye de manera marcada en el contenido de carbono del suelo.

El contenido de C se relaciona con la actividad enzimática debido a su dependencia con la disposición de sustratos carbonados, con esto se explicaría la relación directa existente entre la actividad enzimática de la fosfatasa y el uso del suelo, debido a que los factores mencionados son altamente susceptibles a la variación en propiedades que genera el cambio de uso del suelo (Dalurzo *et al.* 2000), mientras la profundidad en el suelo aumenta, existe menos C disponible para las poblaciones microbianas, por tanto la actividad de estas que está ligada directamente a la enzimática disminuirá (Dungait *et al.*, 2012).

Otra variable a tener en cuenta es la materia orgánica, en el caso específico de la fosfatasa su mayor actividad está relacionada a un aumento de la estabilidad por su adsorción a la materia orgánica del suelo (Dalurzo *et al.*, 2000), este último un factor varía de acuerdo al uso al que esté sometido el suelo, al comparar los resultados con mayor variación estadística de acuerdo a la materia orgánica a una misma profundidad, se encontró que para el sistema silvopastoril a 20 cm hay un 21,3% de MO y 476,09 μg de P-Nitrofenol (PNP) $\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ en la actividad de la enzima fosfatasa, por otra parte para la pastura a 20 cm se encontró un 13,1% (MO) y 422,33 μg de P-Nitrofenol (PNP) $\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, esto con base a la relación mencionada indica una ventaja para el sistema silvopastoril en cuanto a la actividad enzimática de la fosfatasa a una determinada profundidad.

En el Sur de la Provincia de Misiones, Argentina se reportaron valores más altos para la enzima fosfatasa en usos en los cuales la materia orgánica era mayor, en selva subtropical 440 μg de P-Nitrofenol (PNP) $\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ con un 6,76% de materia orgánica del suelo, y en pastos convencionales 299,8 μg de P-Nitrofenol (PNP) $\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ y 3.26% de materia orgánica del suelo (Dalurzo *et al.*, 2000).

Los resultados encontrados concuerdan con los reportados con Effron *et al.* (2005) y Caldwell (2005), los cuales indican que la actividad de la enzima fosfatasa está directamente relacionada con el tipo de especies forestales presentes en un determinado uso, en dicho caso estos resultados estarían vinculados con la mayor cantidad de residuos que aportan estas especies y con sus más altas tasas de descomposición, Effron *et al.*, 2005 reportaron para los suelos con espina corona (*Gleditsia amorphoides*) 1000 μg de P-Nitrofenol (PNP) $\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, para los suelos con Mora (*Chlorophora tinctoria*) 1300 μg de P-Nitrofenol (PNP) $\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, y para los suelos con Guayaibí (*Patagonula americana*) 800 1300 μg de P-Nitrofenol (PNP) $\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$.

Este estudio, reporta en el uso sistema silvopastoril con predominio el aliso (*Alnus acuminata* H.B.K) valores de 491,09 µg de P-Nitrofenol (PNP) .g⁻¹.h⁻¹ a los 10 cm de profundidad y 476,76 µg de P-Nitrofenol (PNP) .g⁻¹.h⁻¹ a los 20 cm de profundidad, diferenciándose del uso pastura en el cual solo predominaba el pasto kikuyo, y en donde se presentó 446,86 µg de P-Nitrofenol (PNP) .g⁻¹.h⁻¹ a los 10 cm de profundidad y 422,33 µg de P-Nitrofenol (PNP) .g⁻¹.h⁻¹ a los 20 cm de profundidad.

4. CONCLUSIONES

El sistema silvopastoril en el cual se identificaron las especies aliso (*Alnus acuminata* H.B.K) y pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone), presento mayor actividad enzimática para fosfatasas y ureasas a los 10 cm de profundidad en comparación con los usos pastura y bosque en las diferentes profundidades.

El uso pastura presentó los promedios más bajos en la enzima ureasa a los 10 cm y en la enzima fosfatasa a los 20 cm con respecto a los otros dos usos evaluados.

Factores como cobertura vegetal, contenido de materia orgánica, carbono orgánico y elementos químicos como el N influyen de manera directa sobre la actividad de fosfatasas y ureasas del suelo.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anriquez, A., Barreto, G., Silberman. J., Dominguez, N., Dominguez, N. J. & Albanesi, A. (2017). Abundancia y actividad microbiana del suelo en sistemas silvopastoriles de la región chaqueña. Agrotecnia 25. XI Reunión Nacional Científico-Técnica de Biología de Suelos- Corrientes (Argentina)
- Acosta, V. M.A. & Tabatabai. (2000). Enzyme activities in a limed agricultural soil. *Biology and Fertility of Soils* 31(1): 85-91.

- Baležentienė L. & Klimas E. (2009). Effect of organic and mineral fertilizers and land management on soil enzyme activities. Effect of organic and mineral fertilizers and land management on soil enzyme activities (Special issue I). 9:191-197.
- Baležentienė L. (2012). Hydrolases Related to C and N Cycles and Soil Fertility Amendment: Responses to Different Management Styles of Agro-Ecosystems. *Pol. J. Environ. Stud.* 21(5):1153-1159.
- Bolaños, M. (2006). Evaluación de actividad enzimática (deshidrogenasa, proteasa, fosfatasa y arilsulfatasa) en la rizosfera de plátano Musa AAB: relación con propiedades de un andisol. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Colombia, Palmira. pp 230.
- Caldwell B.A. (2005). Enzyme activities as a component of soil biodiversity: a review. *Pedobiología* 49:637- 644.
- Caravaca F., Masciandaro G., Ceccanti B. (2002). Land use in relation to soil chemical and biochemical properties in a semiarid Mediterranean environment. *Soil and Tillage Research* 68(1):23-30.
- Carpa R. (2009). Enzymological research on soils from different environments. *Annals of RSCB* 16(1):44-48.
- Cepeda B.D. & Velásquez L.F. (2015). Análisis de captura de carbono en seis especies forestales nativas (3 esciofitas-3 heliofitas) plantadas con fines de restauración en el Parque Ecológico La Poma (PEP) - sabana de Bogotá – Colombia
- Cerón R. L. & Melgarejo L. M., (2005). Enzimas del suelo: indicadores de salud y calidad. *Acta Biológica Colombiana*, 10(1): 5-18.
- Dalurzo, Humberto. Toledo, Diana Marcela & Vázquez, Sara. (2000). Efecto del uso del suelo sobre la actividad de la fosfatasa ácida en Ultisoles del sur de Misiones. Facultad de Ciencias Agrarias - UNNE. Sargento Cabral 2131 - (3400) Corrientes –Argentina. Recuperado de http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2000/5_agrarias/a_pdf/a_021.pdf

- Dick W.A. & Tabatabai M.A. (1993). Significance and potencial uses of soil enzymes. Soil Microbial Ecology Meeting, pp. 95-127. Jr., F.B. (ed.). Marcel Dekker, New York: Soil Microbial Ecology.
- Dungait, J. A. J., Hopkins, D. W., Gregory, A. S., & Whitmore, A. P. (2012). Soil organic matter turnover is governed by accessibility not recalcitrance. *Global Change Biology*, 18, 1781–1796.
- Effron, D. Jimenez, M. Defrieri & R. Prause, J. (2006). Relación de la Actividad de Fosfatasa Ácida con Especies Forestales Dominantes y con Algunas Propiedades del Suelo de un Bosque Argentino. *Inf. tecnol.* 17(1): 3-7.
- Fernández, L; Sagardoy, M & Gómez, M. (2008). Estudio de la fosfatasa ácida y alcalina en suelos de la región pampeana norte del área sojera argentina. Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires, Argentina: Laboratorio de Microbiología Agrícola, Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur, Altos del Palihue s/n, (8000)
- Ferrari, A. E. & Wall, L., G. (2004). Utilización de árboles fijadores de nitrógeno para la revegetación de suelos degradados. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 105(2):63-87.
- Ferreras L., Toresani S., Bonel B., Fernández E., Bacigaluppo S., Faggioli V. & Beltrán C. (2009). Parámetros químicos y biológicos como indicadores de calidad del suelo en diferentes manejos. *Ciencia del suelo*. 27(1):103-114.
- Gajda A. & Martyniuk S. (2005). Microbial Biomass C and N and Activity of Enzymes in Soil under Winter Wheat Grown in Different Crop Management Systems. *Polish Journal of Environmental Studies*, 14(2).
- Gálviz, Ch; Burbano, H & Bonilla, C. (2007). Actividad de fosfatasa ácida en suelos cultivados con papa y praderas del corregimiento de Catambuco, Pasto-Colombia.

- Gil-Sotres F., Trasar-Cepeda C., Leirós M.C. & Seoane S. (2005). Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. *Soil Biology and Biochemistry*. 37(5):877-887.
- Gomis, C. (2008). La eutrofización. Recuperado de www.criecv.org/es/proyectos/pag_agua/eutrofizacion.html. 1p.;
- Henríquez, Carlos. Uribe, Lidieth. Valenciano & Arturo. Nogales, Rogelio. (2014). Actividad enzimática del suelo -Deshidrogenasa, B-glucosidasa, Fosfatasa y Ureasa, bajo diferentes cultivos. *Agronomía Costarricense* 38(1): 43-54.
- Henriquez C. & Cabalceta G. (2012). Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. San José Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del suelo. 111 p.
- Hu Y.L., Wang S.L. & Zeng D.H. (2006). Effects of Single Chinese Fir and Mixed Leaf Litters on Soil Chemical, Microbial Properties and Soil Enzyme Activities. *Plant and Soil* 282(1-2):379-386.
- IDEAM. Instituto De Hidrología, Meteorología Y Estudios Ambientales. (2016), Registros históricos 2001 – 2016, Estación Meteorológica Botana. Pasto.
- IGAC. Instituto Geografico Agustin Codazzi. (2009). Estudio general de suelos y zonificación de tierras departamento de Nariño. Recuperado de ftp://gisweb.ciat.cgiar.org/DAPA/users/apantoja/london/Colombia/Suelos/00_shape_suelos/PROYECTO_DNP/MEMORIAS_SUELOS_OFICIALES/NARI%C3%91O/Cap%201.pdf
- Kandeler E., Stemmer M. & Klimanek E.M. (1999). Response of soil microbial biomass, urease and xylanase within particle size fractions to long-term soil management. *Soil Biology and Biochemistry* 31(2):261-273.
- Montero F. A. & Sagardoy M. A. (2007). Actividad enzimática de ureasa en suelos de Buenos Aires, Entre Ríos, Córdoba y Santa Fe cultivados bajo siembra directa. XI Congreso Argentino de Microbiología, Córdoba, Argentina. Recuperado de

<https://www.engormix.com/agricultura/articulos/actividad-enzimatica-de-ureasa-en-suelos-bajo-siembra-directa-t27872.htm>

- Muñoz, E. Pupiales & S. Navia, J. (2010). Evaluación del estado actual del nitrógeno en el arreglo silvopastoril aliso (*Alnus jorullensis* h b & k) kikuyo (*Pennisetum clandestinum* hochst. ex chiov.). *Revista de Ciencias Agrícolas*. 28(1): 161-175.
- Ospina, C.; Hernández, R.; & Gómez, D. (2005). Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana. El Aliso o Cerezo *Alnus acuminata* H.B.K ssp. *Acuminata*. Recuperado de www.cenicafe.org/modules/News/documents/cdiv_aliso.pdf. 6, 14 p.
- Parra, T. S.; Salas, N. E.; Villarreal, R. M.; Hernández, V. S. & Sánchez, P. P. (2010). Relaciones nitrato/amonio/ urea y concentraciones de potasio en la producción de plántulas de tomate. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*. 16:37-46.
- PAUL, E.A. & CLARK, F.E. (2007). *Soil Microbiology and Biochemistry*. San Diego: Academic Press. 275 p.
- Paul, E.A., (2015). *Soil Microbiology and Biochemistry*. Fourth edition. Academic Press. 603 p.
- Paz-Ferreiro J., Trasar-Cepeda C., Leirós M.C., Seoane S. & Gil-Sotres F. (2007). Biochemical properties of acid soils under native grassland in a temperate humid zone. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 50(4):537-548.
- Quiroz, M. (2007). Evaluación de la actividad enzimática y su relación con el C orgánico y la actividad respiratoria microbiana en un andisol con distintas rotaciones. Recuperado de <http://www.repositorio.uchile.cl/handle/2250/101880>
- Rosales B.C., (2013). Caracterización dinámica de suelos en la Universidad de Nariño sede San Juan de Pasto mediante el método de microtrepidaciones propuesta por Nakamura. Tesis de pregrado. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. 72p.

- Santruckova, H; J Vrba; T Picek & J Kopacek. (2004). Soil biochemical activity and phosphorus transformations and losses from acidified forest soils. *Soil Biol Biochem* 36: 1569- 1576.
- Tabatabai, M. (1972). Soil enzymes In. WEAVER, R W., ANGLE, J. S., BOTTONMLEY, D. S. Methods of soil analysis Part 2. Microbiological and Biochemical properties Soil Science Society of America, Madison W. I. USA. Recuperado de <https://dl.sciencesocieties.org/publications/books/tocs/sssabookseries/methodsofsoilan> 2
- Trasar C., Leiros M. & Gil F. (2003). Consideraciones generales sobre la determinación de las actividades enzimáticas del suelo. Ed. C. García, F. Gil, T. Hernández y C. Trasar. In: Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos. España: Mundiprensa. 371 p.
- Yoshioka, I. (2005). Actividad de fofstasas acida y alcalina en un suelo cultivado con plátano Musa AAB: en tres sistemas de manejo. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia, Palmira. 99 p.